

# 中国制造业能源消费 存在杰文斯悖论吗

□丘海斌

(厦门大学 经济研究所, 福建 厦门 361005)

能源回弹是否存在及回弹的程度,对相关的能源政策与气候变化政策具有重要的影响。本文通过内生经济增长理论,将制造业分为三种类型,实证分析了短期和长期、产出和强度的能源回弹效应。研究结果发现,中国制造业存在回弹效应,但不存在杰文斯悖论。技术节能政策实现了部分效果,制造业内部细分行业的回弹效应具有较大行业差别。

关键词: 能源回弹; 产出效应; 强度效应; 杰文斯悖论

中图分类号: F426 文献标识码: A 文章编号: 1003—5656(2016)03—0032—08

DOI:10.16158/j.cnki.51-1312/f.2016.03.009

## 一、问题提出

自工业化以来,人们对能源消费问题一直存在悲观主义和乐观主义的争论。乐观主义者认为随着能源需求增加,某种资源减少时,会推高该种能源的价格,价格的上升引起节能技术的进步,或转向新的替代能源。但悲观主义者的观点认为,技术进步不能解决能源问题。针对英国工业革命引起的煤炭消费问题,1865年英国经济学家杰文斯就表达了这种观点:“是否是能源效率自身导致了所期望的结果,或者,是否是它引起了更高速度的能源消耗?”他在《煤炭问题》<sup>[1]</sup>的第7章“论燃料经济”提出了这样的反向理论,“即每单位设备燃料消耗的减少产生了更大的总消耗”。“每单位设备燃料的节约根本不可能为后代利用燃料提供空间。”这就是“杰文斯悖论”。Khazzom这样描述:“……电器效率的变化会引起价格的变化……随着生产能力的提高,商品的有效价格会下降,并且……需求并不是始终不变的……而是趋于提高(Khazzom, 1980)。”<sup>[2]</sup> Saunders(1992)把他们的思想概括为“Khazzom-Brookes(K-B)假说”,该假说的意思是“当价格不变时,能源效率的提高比不提高时增加了能源消费”。也就是回弹效应中的回火或逆反效应(backfire effect),即超过100%的反弹,达不到节能目标。

能源效率的提高是否增加了总的能源消费,涉及到两种不同的对效率的定义以及对能源消费的思考方式,“把效率提高定义为‘每单位产出的更少投入’还是‘每单位投入的更多产出’,是有区别的……尽管在技术上,两者是相等的,但前者倾向于在坚持产出不变的条件下可以节约什么,而后者则倾向于考虑在可能没有节约的情况下强调提高产出”<sup>[3]</sup>。讨论回弹效应的存在,倾向于将效率定义为“每单位投入的更多产出”,即“产出最大化”,而不是产出不变的情况下“成本最小化”。

在后一种定义下,技术进步会产生两种效应:替代效应和产出效应,回弹是两种效应的结果。是否存在回弹及其程度的研究,是回答技术进步能否解决能源消费问题,并对能源和气候政策具有重要的

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“经济增长与区域经济差异”(13JJD790025)

启示意义。在预测能源效率提高对能源消费与全球气候变化时,大部分的研究没有考虑回弹效应,如美国 IPCC 的报告、Stern(2007)的报告,都高估了技术能效提高对减少能源消费和减排的作用,从而对气候变化的估计偏于乐观。

目前对回弹效应的研究,包括理论和实证研究。在定义上,杰文斯提出“悖论”思想后,Brookes(1978, 1993, 2004)广泛扩展了该命题。Berkhout(2000)、Greening et al.(2000)、Saunders(2000, 2008)等定义了回弹效应。Saunders(1992, 2000, 2008, 2013)主要采用新古典经济方法对回弹效应进行了研究,比较了不同的生产函数特征和适用性,并对美国的30个行业的回弹效应进行了实证分析。Allen et al.(2006)、Wei(2007, 2010)在Saunders的基础上,放松约束条件,深化了Saunders的理论。Steve Sorrell & John Dimitropoulos等(2007)对回弹效应进行了全面地总结和评述,具有里程碑意义。国内的研究主要是实证性质的,已有部分利用新古典三要素生产函数实证研究了中国宏观经济的能源弹性(周勇, 2007; 王群伟, 2008; 刘源远, 2008; 王纯灿, 2011;);邵帅等(2013)则将C-D生产函数内生生化,度量了中国宏观经济能源消费;国涓等(2010)利用索洛余值代表技术进步计算中国工业能源反弹效应;胡秋阳(2014)利用CGE模型模拟分析了改善高能耗产业或低能耗产业的能源效率对中国总体能耗的可能影响。乔海曙、李亦博(2014)构建了基于LMDI方法的能源回弹效应测算框架,对中国的能源回弹效应进行实证测算。林民书(2013)利用Saunders(2008)的模型将能源效率进一步内生生化,用内生增长理论研究了中国能源回弹效应。

国内研究目前存在三个主要问题:(1)能源效率的表示存在偏误,有用全要素生产率代表能源效率,能源效率只是全要素生产率的一部分,用全要素生产率表示能源效率,高估了能源效率;(2)为了达到经济的平衡增长路径及收敛效应,使用的函数大部分为劳动增强型,但劳动增强型形式与中国在过去以投资为主的增长不符,资本增强型因素不可忽略;(3)大部分的研究是全国宏观经济系统的回弹研究,少部分研究了行业,对行业的分类比较宏观。本文考虑资本、劳动、能源三要素都存在效率改善,并将效率内生生化,按平均能源强度将制造业分为轻工业、重工业、中间行业进行分类比较。

## 二、理论分析与模型选择

本文主要分析生产者的直接回弹效应。所谓回弹效应,指能源效率的提高带来的能源节约,因某种机制的作用,最终反而使能源消费增加,从而未能达到技术进步带来能源节约的预期效果。回弹效应可以分为两种,直接回弹和间接回弹。直接回弹只与单个能源服务部门相关,如供电或供热,只限定在这些部门所需要的能源;间接回弹,与其他产品和服务的能源需求相关,能源效率提高得到的成本节约,会用于消费其他产品和服务,而这些产品和服务也要消费能源,从而增加了能源消费。经济系统的回弹效应,是直接回弹和间接回弹的加总。从对象上又分为消费者能源回弹和生产者能源回弹。

本文研究的制造业,只涉及生产者直接回弹效应,不讨论消费者回弹。生产者直接回弹效应可分解为替代效应和产出效应。两种效应以生产函数中资本和能源的投入为例来说明,可以由图1和图2表示<sup>[4]</sup>。图1所示,能源效率的提高使等产量线左移,由Y移动到Y'。两条曲线的产出水平一样,但资本不变,能源消费减少。初始的投入组合为 $(K_1, E_1)$ ,能效提高减少了能源消费,资本不变,新的投入组合为 $(K_1, E_2)$ ,能效提高带来的消费减少量 $(E_1 - E_2)$ ,价格不变情况下,更少的投入得到同样的产出。但能效提高要求的最优要素组合是,资本和能源的边际技术替代率等于它们的价格比(价格不变),新的最优组合 $(K_2, E_3)$ ,位于等成本线和新等产量线相切,生产者转向更多的能源投入,能效提高带来的消费节约量变为 $(E_1 - E_3)$ 。新投入组合节约了成本,利润最大化要求产出增加,等产出线外移,如图2,最优产出时的要素组合为 $(K_4, E_4)$ ,最终的能源消费量 $E_4$ 可能小于 $E_1$ 、等于 $E_1$ ,也可能大于初始的 $E_1$ ,对应到回弹效应,与 $E_1$ 相等

时,表示完全回弹;小于 $E_1$ 时,部分回弹;大于 $E_1$ 时,存在回火效应。

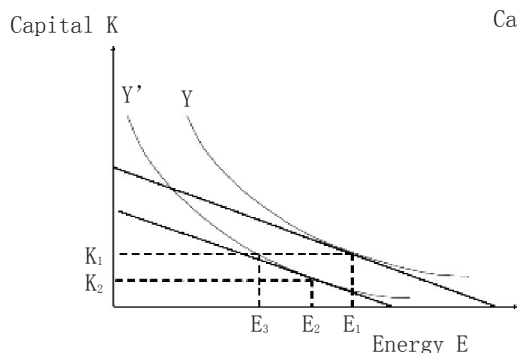


图1 能源替代效应

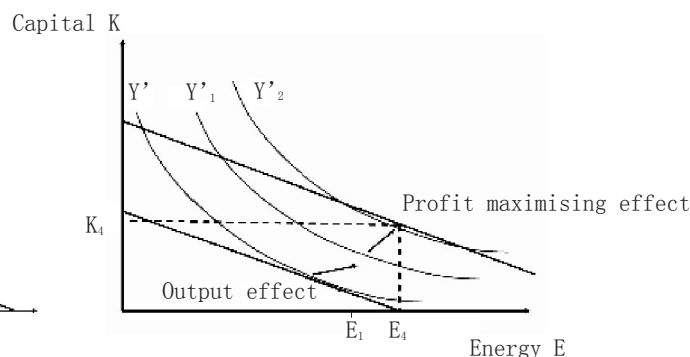


图2 能源产出效应

假设能源消费的生产函数为:  $Y=f(K, L, E)$ 。F表示物理燃料(fuel), E表示能源服务(energy service), 工程效率参数 $\tau$ , 用于乘以燃料, 得到能源使用。  $Y=f(K, L, \tau F)$ ,  $\tau F=E$ , 表示燃料和能源服务的关系。 $\tau$ 表示的工程效率将F转化为可得到的能源服务E, 是燃料F的减量。能源效率的提高是否能达到能源使用量下降, 首先要满足能源节能条件(the fuel conserving condition):  $\frac{\partial}{\partial \tau} \Big|_{F=F^0} \frac{\partial Y}{\partial F} < 0$ 。如果能

源节省条件不成立, 能源使用效率提高带来能源的边际生产率将上升, 由此, 能源使用量必然上升, 即能源使用效率的提高只会引致回火效应。

根据 Saunders (2000a, 2005) 的定义, 能源消费对能源效率的弹性  $\eta_\tau^F = \frac{\tau}{F} \frac{\partial F}{\partial \tau}$ 。将回弹定义为:  $R=1+\eta_\tau^F$ , 不同的弹性数值和结果含义如表1所示。

对回弹效应进行分解, 一方面, 能源效率提高降低了能源价格, 从而使用更多的能源; 另一方面, 扩大了生产可能性, 增加产出, 使用更多能源。前者称为“强度效应”, 后者称为“产出/收入效应”。

回弹公式可以扩展为  $R=1+\eta_\tau^{F \text{ intensity}} + \eta_\tau^{F \text{ output}}$ 。由  $F \equiv \frac{F}{Y} Y$ , 求微分得到,  $\eta_\tau^F = \frac{\tau}{F} \frac{\partial F}{\partial \tau} = \frac{\tau}{(F/Y)} \frac{\partial}{\partial \tau} \left( \frac{F}{Y} \right) + \frac{\tau}{Y} \frac{\partial Y}{\partial \tau}$ 。方程右边第一项表示能源强度效应, 反映单位产出的能耗水平(能源/产出, 也称为能源强度)对能源效率变化的动态弹性, 第二项表示产出效应, 反映能源使用效率提高对产出的影响。

Saunders (2008) 总结了八种生产函数, 综合考虑认为 CES (Hogan-Manne-Richels 表示的  $[(KL)F]$  嵌套型) 函数最适合用于回弹效应的测度。本文使用的生产函数为嵌套式 CES 生产函数, 设函数形式为:  $Y=F(v_K K, v_L L, v_E E)$ 。参考 Saunders<sup>[5][6][7]</sup>、林民书<sup>[8]</sup>、邵帅等<sup>[9]</sup>的模型进行扩展。林民书将模型内生化的, 采用技术的劳动增强型生产函数, 没有考虑资本的技术增强型。由于中国改革以来是以投资为主, 经济严重依赖投资的经济增长方式, 不考虑资本效率, 将低估资本在经济发展中的作用。因此, 本文同时考虑了资本增强型和劳动增强型, 从而影响了产出对资本弹性 $S_K$ 和产出对能源使用量弹性 $S_E$ 的值,

表1 不同弹性值及含义

R值	效应	能源消费数量	政策含义
$R>1$	回火或逆反效应 (backfire)	实际消费量>初始消费量	增加了能源消费
$R=1$	完全弹性 (full rebound)	实际能源消费=初始能源消费量	完全失效
$0<R<1$	部分弹性 (partial rebound)	初始量>实际消费量>预期消费量	有部分节能效果
$R=0$	零弹性 (Zero rebound)	实际消费=预期消费量	预期效果完全实现
$R<0$	超弹性 (super-conservation)	实际消费量<预期消费量	节能效果超预期, 具有可持续发展意义

进而影响回弹效应的值。设函数具体形式为:

$$Y = [\alpha((v_K K)^\alpha (v_L L)^{1-\alpha})^\rho + b(v_F F)^\rho]^{1/\rho} \quad (1)$$

其中,  $Y$  表示产出、 $K$  为资本、 $L$  为劳动、 $F$  为燃料,  $v_K$  为资本效率、 $v_L$  为劳动效率,  $v_F$  为能源效率,  $v_F F = E$ ,  $\rho = \frac{\sigma-1}{\sigma}$  表示能源服务提供量( $E$ )与资本劳动  $((v_K K)^\alpha (v_L L)^{1-\alpha})$  联合的替代弹性。能源服务量为  $E$  (一般指最终得到的有效能源服务量), 能源使用量(一般以物理燃料表示)为  $F$ , 能源使用量需要技术转化为能源服务, 从而  $E = v_F F$ , 其中  $v_F$  为能源使用效率。<sup>①</sup>根据技术内生方式, 公式中包括了资本增强型技术、劳动增强型技术、能源增强型技术。类似于内生增长模型中技术进步依赖于资本投入, 及“干中学”效应的积累, 资本效率、劳动效率和能源服务效率的提高随着资本使用量的增加而提高, 另外能源服务效率的提高还依赖于能源使用量。能源技术的增长随着资本投入的增加及能源使用量的增加而提高。由此三种效率可以假设为:  $v_K = MK^\lambda$ 、 $v_L = BK^\phi$ 、 $v_F = CK^\beta F^\gamma$ 。根据能源节省条件定义:

$$\frac{\partial(\partial Y/\partial F)}{\partial v_F} \Big|_{F=F_0} = \frac{\partial \left( \frac{\partial Y}{\partial v_F} \right)}{\partial F} \Big|_{F=F_0} < 0 \quad (2)$$

由式(1)、(2)可得到<sup>②</sup>

$$\gamma > S_F + \sigma - 1 \quad (3)$$

表示能源使用效率对能源使用量的弹性大于产出对能源使用量的弹性。能源使用量的增加提高了效率, 同时引起产出的增加, 对效率提高产生的影响要大于对产出的影响程度。因此, 能源使用量的增加会发生回弹效应, 不存在回火效应, 从而可以认为技术进步的节能政策产生了部分效果。

由(2)式及短期回弹效应公式可得:

$$R^{\text{short}} = 1 + \eta_{v_F}^F = 1 + \eta_{v_F}^{\text{output}} + \eta_{v_F}^{\text{intensity}} = 1 + \frac{1 - (\gamma + 1)\rho}{1 - (\gamma + 1)\rho - S_F(1 - \rho)} \quad (4)$$

由(4)式可知, 短期能源弹性与产出对能源消费量弹性  $S_F$ 、替代弹性  $\sigma$  (由  $\rho = \frac{\sigma-1}{\sigma}$ ) 能源使用效率对能源使用量弹性  $\gamma$  相关。当  $\sigma$  和  $\gamma$  越大, 则短期回弹效应越大。当  $(\gamma + 1)\rho > 1$  时,  $S_F$  越大, 短期回弹越小; 当  $(\gamma + 1)\rho < 1$ ,  $S_F$  越大, 短期回弹效应越大。

短期回弹效应可分解为产出效应和强度效应:

$$\eta_{v_F}^{\text{output}} = \frac{S_F}{1 - \frac{(1 - \rho)S_F}{1 - (\gamma + 1)\rho}} \quad (5)$$

$$\eta_{v_F}^{\text{intensity}} = \frac{1}{\frac{1 - (\gamma + 1)\rho}{S_F(1 - \rho)} - 1} - \frac{S_F}{1 - \frac{(1 - \rho)S_F}{1 - (\gamma + 1)\rho}} = \frac{\gamma \rho S_F}{1 - (\gamma + 1)\rho - S_F(1 - \rho)} \quad (6)$$

类似的, 长期回弹效应及其分解式:

$$R^{\text{long}} = 1 + \eta_{v_F}^F = 1 + \eta_{v_F}^{\text{output}} + \eta_{v_F}^{\text{intensity}} = \frac{1}{1 - (1 - \rho)S_K} + \frac{(1 - \rho)\rho(1 + \gamma)S_F S_K}{(1 - (1 - \rho)S_K)(\beta \rho S_F + (1 - (\gamma + 1)\rho)S_K)} \quad (7)$$

$$\eta_{v_F}^{\text{output}} = \frac{S_F}{1 - (1 - \rho)S_K} \quad (8)$$

① 为便于推导, 先做出有关定义:  $S_F = \frac{F}{Y} \frac{\partial Y}{\partial F}$  表示产出对能源使用量弹性;  $S_K = \frac{F}{Y} \frac{\partial Y}{\partial K}$  表示产出对资本弹性;  $S_{v_F} = \frac{v_F F}{Y} \frac{\partial Y}{\partial v_F}$  表示产出对能源效率弹性;  $\eta_{v_F}^F = \frac{F}{v_F} \frac{\partial v_F}{\partial F} = \gamma$  表示能源效率对能源使用量弹性;  $\eta_{v_F}^{\text{output}}$  表示能源效率引起的产出效应;  $\eta_{v_F}^{\text{intensity}}$  表示能源效率引起的强度效应;  $R^{\text{short}}$  表示短期回弹效应;  $R^{\text{long}}$  表示长期回弹效应。

② 有关公式的详细推导篇幅较长, 可向作者索要。



$$\eta_{v_F}^{\text{intensity}} = \frac{(1-\rho)(1+\beta\rho)S_F S_K}{(1-(1-\rho)S_K)(\beta\rho S_F + (1-(\gamma+1)\rho)S_K)} - \frac{S_F}{1-(1-\rho)S_K} = \frac{\rho S_F((\gamma+\rho)S_K - \beta(\rho S_K + S_F))}{(1-(1-\rho)S_K)(\beta\rho S_F + (1-(\gamma+1)\rho)S_K)} \quad (9)$$

$$\text{其中 } S_F = \frac{F}{Y} \frac{\partial Y}{\partial F} = \frac{F}{Y} \left( \frac{Y}{F} \right)^{1-\rho} F \gamma \rho b (CK^\beta)^\rho (\gamma+1) \quad (10)$$

$$S_K = \frac{K}{Y} \frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{K}{Y} \left( \frac{Y}{K} \right)^{1-\rho} \{ \alpha(\phi(1-\alpha) + \alpha\lambda)[(MK)^\alpha (AL)^{1-\alpha}]^\rho + b\beta(v_F F)^\rho \} \quad (11)^\text{①}$$

### 三、实证结果及分析

#### (一) 模型设定

由方程(1):  $Y = [\alpha((v_K K)^\alpha (v_L L)^{1-\alpha})^\rho + b(v_F F)^\rho]^{1/\rho}$ , (1)式产出对能源消费量的一阶条件, 得到:

$$Y = \left[ \frac{P_F}{c(\gamma+1)} b^{-1} (CK^\beta) \right]^{\frac{1}{1-\rho}} F^{\frac{1-(\gamma+1)\rho}{1-\rho}} \quad (12)$$

对(12)式变换得到:

$$\log\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right) = \frac{-\rho\beta}{1-\rho} \log\left(\frac{K_t}{K_{t-1}}\right) + \frac{1-(\gamma+1)\rho}{1-\rho} \log\left(\frac{F_t}{F_{t-1}}\right) + C \quad (13)$$

由(13)式进行部分参数估计; 在(13)式估计的结果下, 再利用(10)、(11)式的值, 由(4)、(5)、(6)式分析短期效应; 由(7)、(8)、(9)式分析长期效应。

#### (二) 变量选取和说明

将制造业根据能源强度大小, 分为三个部门行业: 轻工业<sup>②</sup>、中间行业、重工业。根据模型, 涉及的变量包括: 总产出(Y)、当期资本存量(K)、当期劳动力(L)、当期能源消费量(F), 数据主要来自《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、中经网数据库。<sup>③</sup>其中, (1)产出数据: 按1983年不变价格换算, 用国内生产总值作为基本指标, 单位: 亿元; (2)资本存量: 根据陈诗一(2008)计算的有关资本存量数据, 并采用同样的方法, 补充计算了2009—2014年的资本存量; (3)劳动力: 采用历年年末的就业人员数作为劳动投入数据, 单位: 万人; (4)能源消费量: 以能源消费问题为指标, 单位: 万吨标准煤。

#### (三) 模型估计

采用极大似然法对(13)式进行估计, 首先进行平稳性检验和估计部分参数, 然后计算短期和长期弹性效应值。应用ADF方法, 依次对方程(13)中的产出变化率对数  $\log\left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}}\right)$ 、资本变化率对数  $\log\left(\frac{K_t}{K_{t-1}}\right)$ 、能源服务变化率  $\log\left(\frac{F_t}{F_{t-1}}\right)$  对数进行检验。所有变量均通过5%的显著水平上拒绝存在单位根的假设。方程(13)估计得到的系数结果,  $\frac{-\rho\beta}{1-\rho} = 0.413$ ,  $\frac{1-(\gamma+1)\rho}{1-\rho} = -0.573$ ,  $c = 0.064$ 。由得到的(13)式中的系数估计值, 结合产出能源使用量弹性  $S_F$ 、产出资本弹性  $S_K$ , 并代入短期回弹公式及其分解的强度效应、能源产出效应。将能源强度效应、能源产出效应、短期回弹效应数据描绘成趋势图。

#### (四) 短期效应结果分析

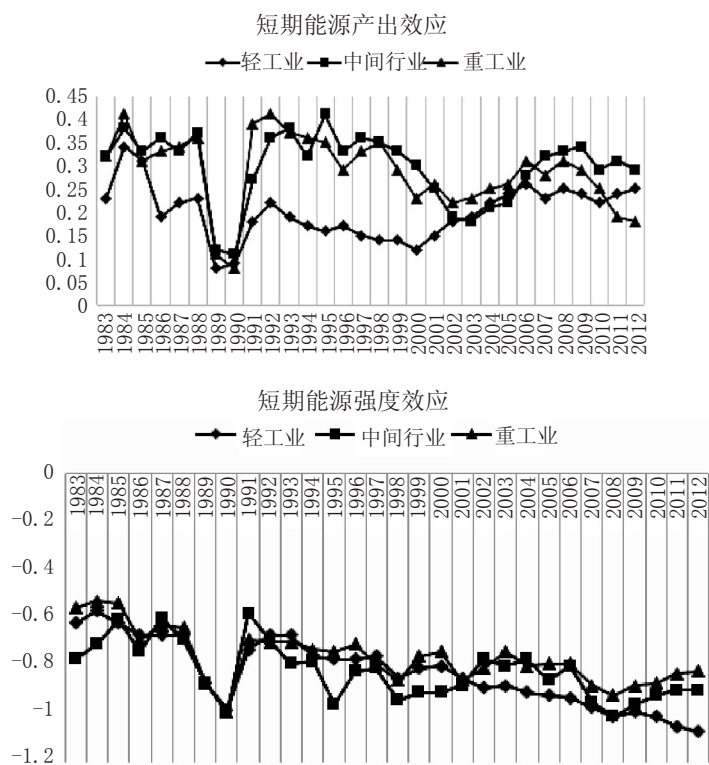
由短期能源产出效应和短期能源强度效应趋势图, 可以分析产出效应、强度效应、总回弹效应。

短期能源产出效应: 产出效应波动明显, 总体趋上与经济发展水平基本同步, 保持在较高水平, 当

① 林氏书(2013)中的  $Y = [a((K)^\alpha (BK^\beta L)^{1-\alpha})^\rho + b(CK^\beta F^\gamma F)^\rho]^{1/\rho}$ ,  $\frac{\partial Y}{\partial K} = \left(\frac{Y}{K}\right)^{1-\rho} \{a(\phi(1-a) + a)[K^\alpha (AL)^{1-\alpha}]^\rho + b\beta(\tau F)^\rho\}$ , 由此得到的  $S_K$ 、 $S_F$  的值与本文有很大的差异。

② 包括行业(根据两位数行业分类, 具体看国家行业标准分类表, 下同): 轻工业包括13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、27、28、29、30、42; 中间行业包括41、42; 重工业包括26、31、32、34、33、35、36、37、40

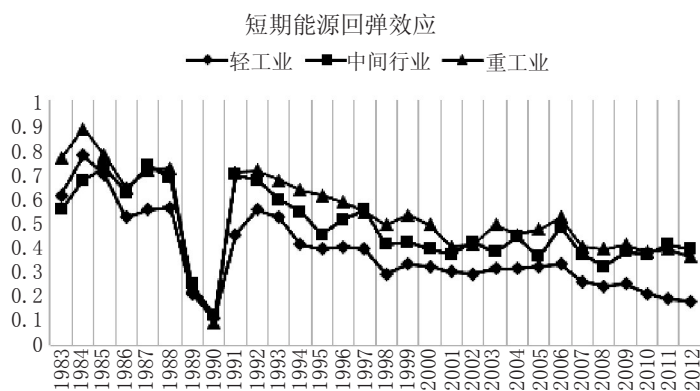
③ 数据表格较长, 详细数据可向作者索要。



经济增速较快时,产出效应也比较大,反之,产出效应较小。如1989—1991年,经济增长基本停滞,产出效应也跌至谷底,因此,反映了产出效应是经济增长的刚性函数。在新常态下,尽管中国经济增速放缓,但由于中国还处在城市化与工业化的进程中,所以产出效应会维持在一定水平,意味回弹效应会长期存在。另外,从三类产业看,中间行业和重工业的产出效应明显高于轻工业,能源密集型产业的转型,或者产业的轻型化及减物质化方向,可以有效地降低能源的产出效应,从而降低总体的回弹效应。但从中国制造业保持长期竞争力看,必须有相当比例的重工业和中间产业,尤其需要大力发展中间产业,因此,对制造业的去能源化途径的产业转移不能寄予过高期望,重点应放在能源强度效应上。

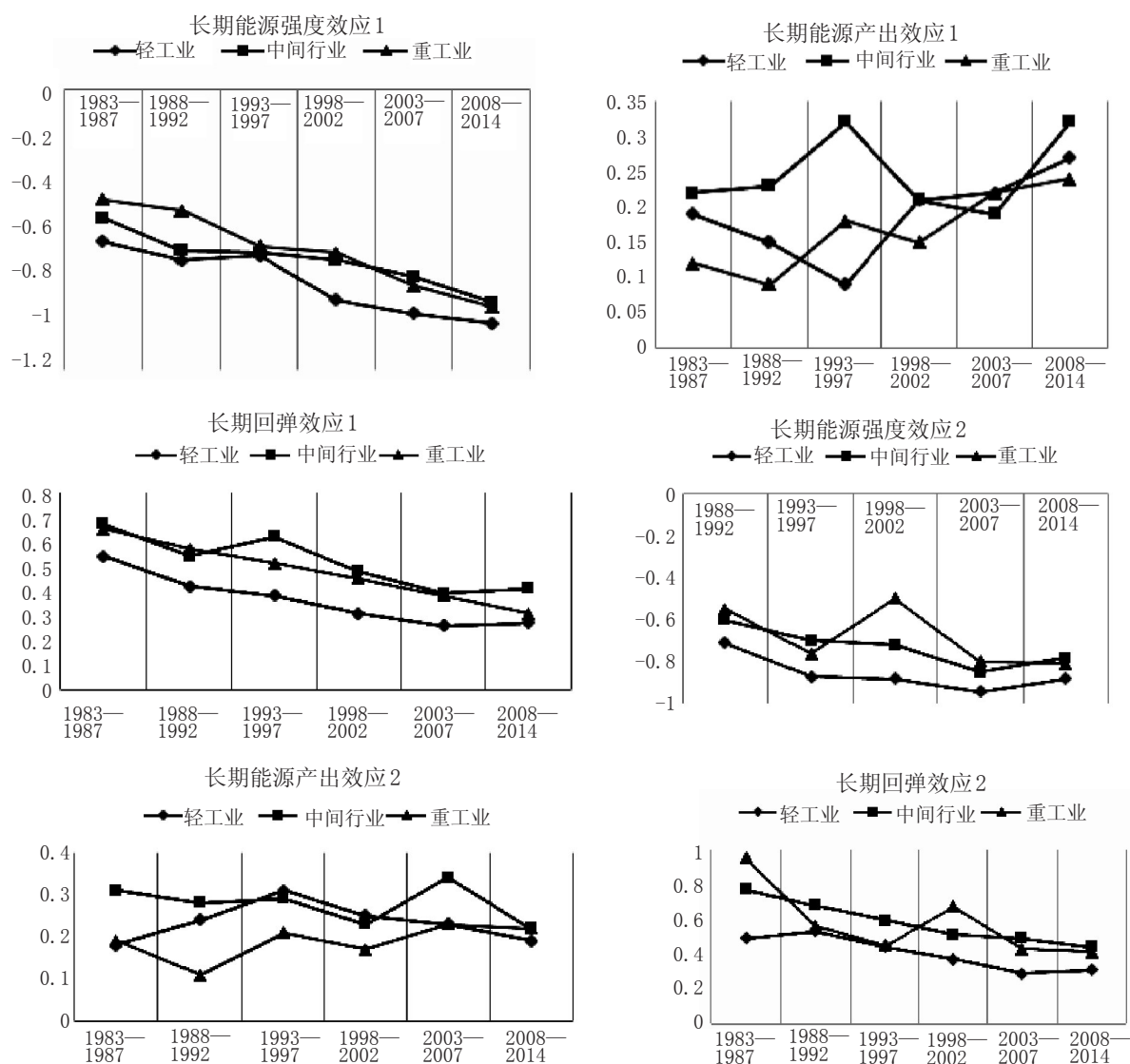
**短期能源强度效应:** 能源强度效应(强度效应的大小以绝对值衡量,绝对值越大,说明技术的节能效果越明显,反之,效果越差)。从折线图可看出,短期能源强度绝对值在总体上比较稳定,三种行业间没有明显的差别,说明能源强度效应不存在产业结构的影响,能源技术的进步在不同的行业中可以达到接近的效果。细微的地方在于,自1994年后,轻工业的能效强度效应有比较稳定的绝对值增大趋势,在2003年后的多数年份低于重工业和中间行业,说明轻工业的强度效应在上升,技术带来的节能减排效果在逐渐增强。本文假定了“干中学”和资本增加型的能源技术内生,节能技术主要通过发达国家技术的引进,通过消化吸收来达到。强度效应没有下降,说明“干中学”的模仿式技术进步随着资本的增加,能源技术的学习效应没有出现报酬递减现象,证明引进技术的消化和模仿,依然可以达到节能的效果,并不完全要求通过自主新创的手段来达到节能技术的提高。从反面也说明中国与发达国家在节能技术上还存在较大差距,可以通过引进技术、利用后发优势达到减排目的,再结合关键领域的自主创新,节能技术的发展可以达到更优组合。

**短期回弹效应:** 短期回弹效应的存在,首先是经济发展的结果,没有经济增长,就不存在回弹效应,与产出效应一样,总回弹效应也是经济增长的函数,只要经济依然在较高速的增长,回弹基本上就是刚性的。从总数值上看,回弹效应比较小,具有下降趋势,说明技术对节能减排具有效果,不存在回火效应(Backfire effect)。从产业看,轻工业的回弹效应最小,从前面的分析可知,这主要得益于轻



工业有较小的产出效应,2009年后又有较大的强度效应,从而总体上拉低了回弹效应。相对应的,重工业回弹效应最大。

长期回弹效应的估计:  $\rho$  的值无法直接估算,因此采用模拟的方法,用两个不同值模拟得到长期回弹效应值。分别取两种情况  $\rho=1$ ,  $\rho=-1$ , 将两种效应转化为趋势图。效应1表示  $\rho=-1$  的模拟结果,效应2表示  $\rho=1$  的模拟结果。



由趋势图可总结出以下几个特征: (1) 强度效应没有出现效率递减,说明技术对节能的效果在增强,三种行业中轻工业存在的强度效应更有优势; (2) 长期产出效应都有较大波动,与当年的国内生产总值和产业比重变化相关; (3) 长期回弹效应有递减趋势,不存在回火效应,技术的节能效应越来越明显。两种模拟情况下的回弹效应,在趋势上一致。在产出效应和能源强度方面,两个模拟值结果在数据范围上一致,但波动性有较大区别。强度效应绝对值都有增大趋势,说明“干中学”效应还在发挥作用,与短期效应结果一致,轻工业的强度效应作用更大,轻工业在强度效应上存在结构性优势,但在产出效应上不具有结构优势,因此,产业结构调整对产出效应影响不大。对比长期回弹效应和短期回弹效应,总体

上长期回弹效应小于短期回弹效应,且长期看有明显的下降趋势,反映技术节能政策长期比短期效果大。

#### 四、结论与政策分析

通过长期和短期回弹效应的分解和比较,可以得到以下几个结论:

(一)中国制造业存在部分回弹效应,且长期呈下降趋势,技术进步对节能效果作用显著。不存在回火效应,所以制造业在本质上不存在“杰文斯悖论”。但回弹效应的存在,仍意味着推动技术进步的能源政策并没有预期那么乐观。需要配合价格改革、补贴政策、总量控制等措施。需要注意的是,制造业不存在“杰文斯悖论”并不等于整体宏观经济系统不存在“杰文斯悖论”。本文的制造业回弹效应是一个行业范围,也就是一个相对封闭的子系统。一旦超越子系统,成为宏观经济系统时,更多的经济子系统产生互动,存在更重要的间接回弹效应,由此可能出现回火效应,即“杰文斯悖论”。

(二)技术进步的节能效果存在行业上的结构性差异,对轻工业具有相对大的节能作用,但没有预期的明显。部分研究认为,产业结构的调整对节能减排作用最大,甚至是根本出路。但从回弹效应看,结构性差异不能从根本上解决节能问题,也没有预期的效果大。在产出效应和经济增长还比较大的情况下,能源消费有很大的刚性,对产业升级带来的节能效果很难寄予过高期望。

(三)提高能源效率的政策,有资源重配和技术两种途径,即补贴节能技术,或利用价格改革产生希克斯“引致性创新”。补贴的方法存在严重的信息不对称和“道德风险”问题,造成补贴的非效率。因此,补贴不宜作为主要手段。而中国能源效率难以提高的更重要影响因素是能源价格的非市场化。中国能源价格在一些领域过低,一些领域过高,并不能一味提高能源价格,尤其在能源垄断性严重的行业,能源价格不能一味地过高。另外,首先进行零售终端的能源价格改革,可以最小化改革阻力,不仅能推动能源价格的真正市场化,而且可以倒逼能源行政管理、能源生产、流通领域的改革,从而提高整个能源行业的效率。

(四)能效提高技术的获得有两种方式,一种是通过自主创新研发新技术,另一种是通过引进发达国家技术,经过吸收消化和经验积累的“干中学”达到技术进步。根据能源强度效应的计算,目前,中国制造业的能源效率提高,经验积累式的“干中学”方法并未出现效率递减,说明“干中学”的模仿在一定时期内仍然有效。因此,在提倡关键领域自主创新的同时,引进发达国家的先进技术,发挥后发优势,在经济效益上依然可行。

#### 参考文献:

- [1] JEVONS, WILLIAM STANLEY. The coal question, 3rd edition[M]. New York: Augustus M Kelley, 1965.
- [2] KHAZZOOM, J. DANIEL. Economic Implication of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances[J]. Energy Journal, 1980, 1(4): 21-40.
- [3] 约翰·M·波利梅尼等. 杰文斯悖论——技术进步能解决资源难题吗?[M]. 上海: 上海世纪出版集团, 2011.
- [4] BERKHOUT, PETER, MUSKENS, JOS AND VELTHUIJSEN. Defining the Rebound Effect[J]. Energy Policy, 2000, 28(6): 425-432.
- [5] SAUNDERS, H. The Khazzom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth[J]. Energy Journal, 1992, 13(4): 131-148.
- [6] SAUNDERS, H. A View from the Maroon-side: Rebound, Backfire and Khazzom-Brookes[J]. Energy Policy, 2000, 28(6).
- [7] SAUNDERS, H. Fuel Conserving (and Using) Production Function [J]. Energy Economics, 2008, 30(5): 2184-2235.
- [8] 林民书, 杨治国, 黄燕文. 基于内生经济增长理论的我国能源回弹效应研究[J]. 江苏师范大学学报(哲学社会科学版), 2013, (2).
- [9] 邵 帅, 杨莉莉, 黄 涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验[J]. 经济研究, 2013, (2).

(收稿日期: 2015-10-07 责任编辑: 李俭国)